

ВВЕДЕНИЕ

Практически в любой отрасли промышленности, включая энергетику, имеются технологические процессы, связанные с измерением расхода и уровня различных веществ.

Измерение расхода жидкостей, газа или пара помогает в обеспечении качества различных технологических процессов промышленных предприятий, в получении и контроле оптимальных режимов работы технологических объектов, контроле расхода в напорных линиях. Измерение расхода жидких и газообразных энергоносителей позволяет контролировать эффективность систем их использования. Результаты измерения расхода применяют для определения мощности, производительности и КПД энергетических установок. Измерение расхода пара необходимо для учета тепловой энергии, которую он переносит, на объектах промышленности и коммунального хозяйства.

Многообразие уровнемеров и расходомеров, предлагаемых в настоящее время, объясняется многообразием задач по определению уровня и расхода: различные продукты, различные условия, различная точность, различная надежность, различная стоимость. При выборе средства измерения необходимо учитывать такие физические и химические свойства контролируемой среды, как температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность и т.д. Кроме того, при выборе уровнемера следует принимать во внимание рабочие условия в резервуаре или около него: давление, вакуум, нагревание, охлаждение, способ заполнения или опорожнения (пневматический или механический), наличие мешалки, огнеопасность, взрывоопасность, пенообразование и прочие другие.

Универсальных средств измерения уровня и расхода не существует. Каждый прибор имеет множество модификаций и опций, которые позволяют подобрать наиболее оптимальный для данного вещества и условий проведения измерения уровнемер, расходомер.

Существуют приборы измерения уровня и расхода жидких, сыпучих, газообразных сред без использования преобразований неэлектрических сигналов в электрические, но они часто не обеспечивают требуемую точность, имеют неприемлимые габариты, не могут быть задействованы в автоматизированных системах контроля и управления. Преобразование неэлектрических величин уровня и расхода в электрические позволяют автоматизировать управление и контроль в технологических процессах, т.е.

снизить влияние человеческого фактора, что позволяет, с одной стороны, повысить качество продукции и оптимизировать расход сырья, а, с другой, снизить требования к квалификации и опыту персонала.

В основе работы любого преобразователя неэлектрического сигнала в электрический лежат известные физические принципы.

1. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКИХ И СЫПУЧИХ СРЕД

Во многих отраслях современной промышленности экономичная и безопасная работа с высокой производительностью технологических процессов требует использование современных методов и приборов измерения, которые следят за состоянием оборудования и ходом процессов. Одной из таких задач является контроль за уровнем и расходом жидкостей. В энергетическом, химическом, нефтехимическом и нефтеперерабатывающем производствах, в пищевой промышленности, в производстве строительных материалов, в системах экологического мониторинга и во многих других отраслях измерение уровня жидкостей – один из ключевых моментов.

Уровнемер – прибор, предназначенный для определения уровня содержимого в открытых и закрытых резервуарах, хранилищах и так далее. Под содержимым подразумеваются разнообразные виды жидкостей, сыпучие и другие материалы. Уровнемеры так же называют датчиками/сигнализаторами уровня, преобразователями уровня.

Как и все средства измерений, уровнемеры состоят из совокупности измерительных преобразователей и вспомогательных устройств, необходимых для осуществления процесса измерений (устройств для линеаризации функций преобразования, отсчетных устройств и т. д.).

Первичный преобразователь (датчик) воспринимает измеряемую величину – уровень, и преобразует ее в выходной электрический сигнал, поступающий на последующие преобразователи, или в показания, отсчитываемые по шкале уровнемера.

Принцип действия большинства первичных преобразователей уровнемеров основан на различии физических свойств веществ, образующих границу раздела.

По принципу действия уровнемеры можно разделить на:

- визуальные;
- механические;
- гидростатические;
- электрические;
- акустические;
- радиоактивные (радиоизотопные);
- волноводные;
- радарные.

Уровнемеры можно разделить на контактные и бесконтактные.

К контактными относятся:

- волноводный;

- поплавковый;
- ёмкостной;
- гидростатический;
- буйковый.

К бесконтактным относятся уровнемеры:

- с зондированием звуком;
- с зондированием электромагнитным излучением;
- с зондированием радиационным излучением.

Уровнемеры разделяют по режиму работы: непрерывного измерения, дискретного измерения (контроль в отдельных точках).

Уровнемеры разделяют по продукту (веществу), уровень которого измеряется:

- датчики уровня для жидкостей (вода, растворы, суспензии, нефтепродукты, масла и т.п.);
- датчики уровня для сыпучих веществ (порошки, гранулы и т.п.).

Основные сложности работы приборов с жидкими продуктами:

- широкий температурный диапазон и давления в резервуаре;
- широкий разброс свойств и, как следствие, необходимость в «индивидуальном подходе» к жидкости;
- часто работа ведется с агрессивными и ядовитыми средами;
- возможна коррозия частей контактирующих с продуктом;
- возможно налипание продукта на контактные чувствительные элементы;
- широкий разброс плотности продукта;
- часто требуется взрывозащищенное исполнение (особенно для нефтепродуктов);
- часто присутствуют бурлящие и пенящиеся поверхности;
- часто необходима высокая точность;
- возможность проникновения паров продукта прибор с последующей конденсацией;
- необходимость соблюдать санитарные нормы для питьевой воды и пищевых продуктов;
- иногда требуется определять уровни для нескольких продуктов, или уровень раздела двух жидкостей.

Уровнемеры для сыпучих веществ разделяются на:

- механические;
- электрические;
- акустические;
- радарные;

- рефлексные (волноводные);
- радиационные.

Особенности работы с сыпучими веществами:

- большие размеры бункеров;
- более низкая точность (по сравнению с жидкостями);
- сложная форма поверхности (горка, воронка, слипшимися комками);
- большая нагрузка на контактные датчики;
- возможность попадания пылевых частиц на средство измерения.

Имеются уровнемеры как без преобразования неэлектрической величины в электрическую, так и с преобразованием.

1.1. Визуальные уровнемеры

Визуальный уровнемер является одним из самых простых по принципу действия, не требующих преобразования неэлектрического сигнала в электрический. В нем используется принцип сообщающихся сосудов. Наблюдения за уровнем жидкости в закрытом сосуде осуществляется непосредственно через водомерное стекло. Указательное стекло соединено с сосудом нижним концом (для открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избыточным давлением или разрежением). Наблюдая за положением уровня жидкости в стеклянной трубке, можно судить об изменении уровня в сосуде. Стёкла комплектуются отсчетным устройством и вентилями или кранами для отключения их от сосуда и продувки системы.

На рис. 1.1 представлена конструкция визуального уровнемера. К емкости с жидкостью 1 через запорные вентили 2 подсоединено указательное стекло (трубка 3). Аппарат и трубка представляют собой сообщающиеся сосуды, поэтому уровень H жидкости в трубке всегда равен ее уровню в аппарате и отсчитывается по шкале.

1.2. Механические уровнемеры

К механическим относятся поплавковые, буйковые и гидростатические уровнемеры. Все они реализуют абсолютный метод измерения уровня, основанный на использовании различия плотностей веществ, образующих границу раздела.

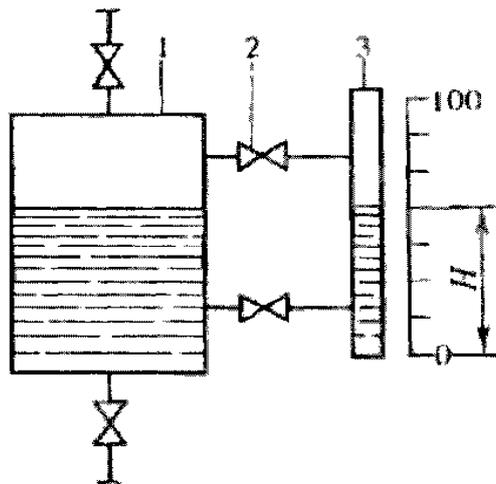


Рис. 1.1. Визуальный уровнемер:
 1 – емкость с жидкостью; 2 – запорные вентили;
 3 – указательное стекло (трубка).

1.2.1. Поплавковые уровнемеры

Поплавковый уровнемер предназначен для выдачи электрического дискретного сигнала об уровне жидкости и уровне раздела двух несмешивающихся жидкостей в аппаратах и резервуарах технологических установок. В поплавковых уровнемерах используется плавающий на поверхности жидкости поплавок, в результате чего измеряемый уровень преобразуется в перемещение поплавка. В таких приборах используется легкий поплавок, изготовленный из коррозионно-стойкого материала. Поплавок под действием выталкивающей („архимедовой») силы перемещается вместе с уровнем жидкости. Положение поплавка, являющееся мерой текущего значения уровня жидкости, фиксируется вторичным преобразователем и преобразуется в электрический, пневматический, частотный сигнал и (или) отсчитывается по шкале показывающего прибора. Связь поплавка со вторичным преобразователем может осуществляться с помощью механических элементов (троса, ленты, рычага) (рис. 1.2) или с помощью бесконтактных (оптических, акустических, радиоизотопных и др.) следящих систем.

Поплавковыми уровнемерами можно измерять уровень жидкости в открытых емкостях. При измерении уровня токсичных, легкоиспаряющихся жидкостей, в сосудах с избыточным давлением необходимо герметизировать вывод сосуда. Характерная особенность поплавковых уровнемеров с механической связью – наличие дополнительных погрешностей, связанных с упругой деформацией и трением элементов связи.

В то же время использование для фиксации положения поплавка бесконтактных следящих систем усложняет конструкцию уровнемеров, обуславливает, как правило, нелинейность их характеристик преобразования.

При тщательной градуировке и правильной эксплуатации поплавковых расходомеров их основная погрешность может быть сведена к значению порядка ± 1 мм в диапазоне измерений до 15-20 м. Вследствие этого поплавковые уровнемеры находят применение в качестве образцовых.

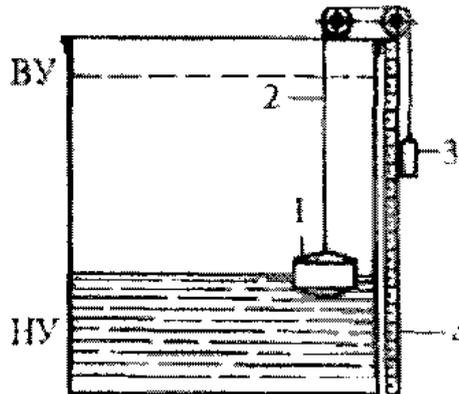


Рис. 1.2. Поплавковый уровнемер:

1 – поплавок; 2 – гибкий трос; 3 – груз; 4 – шкала

Наиболее существенное влияние на точность измерения уровня поплавковыми расходомерами оказывает изменение температуры в рабочей полости сосуда. Изменения температуры обуславливают температурную деформацию поплавка, изменения плотностей жидкости и газа в наджидкостной полости, что, в конечном счете, приводит к изменению Δl осадки поплавка. Так, если температурные изменения плотностей жидкости ($\rho_{ж}$) и газа ($\rho_{г}$) составят соответственно $\Delta\rho_{ж}$, $\Delta\rho_{г}$, то абсолютная дополнительная погрешность уровнемера, связанная с изменением осадки поплавка

$$\Delta l = \frac{\Delta\rho_{ж} + \Delta\rho_{г}}{\rho_{ж} + \rho_{г}} l,$$

при условии постоянства площади сечения поплавка или столь малых значений Δl , при которых эту площадь можно считать постоянной.

Недостатки поплавковых уровнемеров:

- ограничение использования в средах образующих налипание, отложение осадка на поплавок и стержень, а также коррозию поплавка и конструкции чувствительного элемента;
- ограничение по температуре измеряемого продукта;

- при монтаже на крыше резервуара не учитывается изменение геометрии резервуара при перепадах температуры, что ставит под сомнение точность измерений.

1.2.2. Буйковые уровнемеры

Принцип действия буйковых уровнемеров основан на том, что на погруженный буюк действует со стороны жидкости выталкивающая сила. По закону Архимеда эта сила равна весу жидкости, вытесненной буюком. Количество вытесненной жидкости зависит от глубины погружения буюка, то есть от уровня в емкости. Таким образом, в буйковых уровнемерах измеряемый уровень преобразуется в пропорциональную ему выталкивающую силу. Поэтому зависимость выталкивающей силы от измеряемого уровня линейная. В буйковых уровнемерах буюк передает усилие на рычаг промежуточного преобразователя. Выходной сигнал – унифицированный электрический сигнал (постоянный ток).

Согласно рис. 1.3 при изменении уровня жидкости изменяется действующая на конец рычага 2 выталкивающая сила (так как изменяется вес буюка 1). Соответствующий изменяющийся момент сил, действующих на рычаг 2, от буюка 1 передается через вал 5, закрепленный в доньшке 7, на трубку 6 и уравнивается моментом ее скручивания. Изменение угла скручивания трубки пропорционально величине уровня.

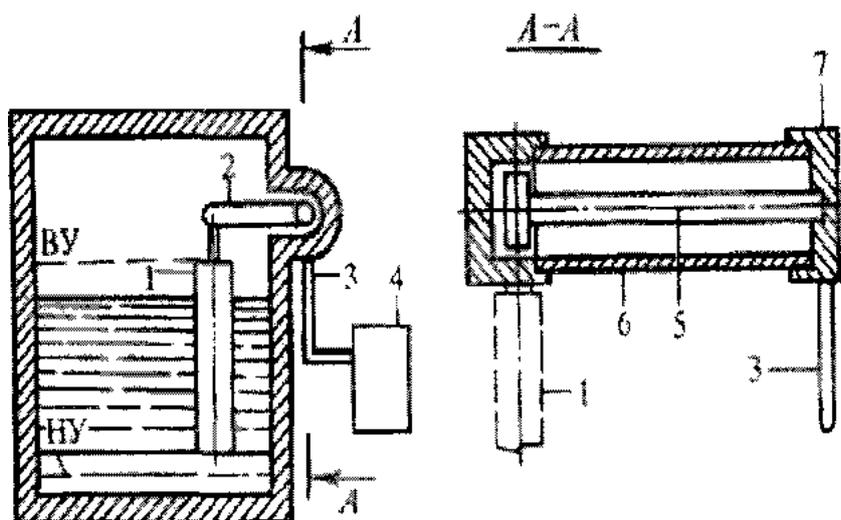


Рис. 1.3. Буйковый уровнемер:

На рис. 1.4 показан внешний вид широко распространенного буйкового измерителя уровня жидкости или границы раздела двух несмешивающихся

жидкостей, находящихся под вакуумметрическим, атмосферным или избыточным давлением Сапфир-22ДУ.



Рис. 1.4. Измеритель уровня жидкости или границы раздела двух несмешивающихся жидкостей Сапфир-22ДУ

Преобразователи Сапфир-22ДУ предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами, в том числе, с взрывоопасными условиями производства. Обеспечивают непрерывное преобразование значения измеряемого параметра уровня жидкости или уровня границы раздела жидких фаз как нейтральных, так и агрессивных сред в стандартный токовый выходной сигнал дистанционной передачи. Преобразователи предназначены для контроля сред, не содержащих компонентов, конденсат паров которых замерзает при температуре окружающего воздуха, возможной в процессе эксплуатации. В случае наличия таких компонентов преобразователи должны размещаться в обогреваемых шкафах или использовать обогреватель уровнемеров.

Преобразователь состоит из измерительного блока и электронного преобразователя. При изменении измеряемого уровня происходит изменение гидростатической выталкивающей силы, действующей на чувствительный элемент – буюк. Это изменение через рычаг передается на тензопреобразователь, размещенный в измерительном блоке, где линейно преобразуется в изменение электрического сопротивления тензорезисторов. Электронный преобразователь преобразует это изменение сопротивления в токовый выходной сигнал. Гидравлический демпфер, внутренняя полость которого заполнена вязкой жидкостью, сглаживает колебания.

Электронный блок позволяет получить:

- линейно возрастающие характеристики выходного сигнала;

- переключаемые различные токовые выходные сигналы;
- контрольный сигнал;
- «ТЕСТ», на специальных контактах клеммной колодки.

В зависимости от назначения преобразователя блок имеет сальниковый кабельный вывод, электрический разъем или специальный кабельный вывод для вида взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка».

Принцип действия буйковых уровнемеров позволяет в широких пределах изменять их диапазон измерения. Это достигается как заменой буйка, так и изменением передаточного отношения рычажного механизма промежуточного преобразователя.

Недостатки те же, что и у *поплавковых уровнемеров*.

1.2.3. Гидростатические уровнемеры

Гидростатические уровнемеры – ближайшие родственники датчиков давления. Гидростатический способ измерения уровня основан на том, что в жидкости существует гидростатическое давление, пропорциональное глубине, то есть расстоянию от поверхности жидкости. Величина гидростатического давления $P_{г}$ зависит от высоты столба жидкости h над измерительным прибором и от плотности этой жидкости ρ . Как известно, давление столба пресной воды высотой 10 метров равно 1 кг/см^2 избыточного давления или 2 кг/см^2 абсолютного. Измеряя давление столба жидкости в емкости, можно определить ее уровень.

По конструкции гидростатические датчики делятся на два типа: стационарные (мембранные) или погружные (колокольные). В первом случае датчик соединен с мембраной, и прибор устанавливается внизу емкости. В случае погружного датчика чувствительный элемент погружен в рабочую среду и передает давление жидкости на сенсор через столб воздуха, запаянный в подводящей трубке.

Для измерения уровня гидростатическим способом могут быть использованы приборы для измерения давления или перепада давлений. В качестве таких приборов обычно применяют дифференциальные манометры. При включении дифференциального манометра перепад давлений на нем будет равен гидростатическому давлению жидкости, которое пропорционально измеряемому уровню.

Измерение гидростатического давления может осуществляться различными способами, например:

- манометром или датчиком давления, которые подключаются к резервуару на высоте, равной нижнему предельному значению уровня;

- дифференциальным манометром, который подключается к резервуару на высоте, равной нижнему предельному значению уровня, и к газовому пространству над жидкостью;

- измерением давления воздуха, прокачиваемого по трубке, опущенной в жидкость на фиксированное расстояние, и другими.

На рис. 1.5 приведена схема измерения уровня датчиком избыточного давления (манометром). Для этих целей может применяться датчик любого типа с соответствующими пределами измерений. При измерении уровня гидростатическим способом погрешности измерения определяются классом точности измерительного прибора, изменениями плотности жидкости и колебаниями атмосферного давления.

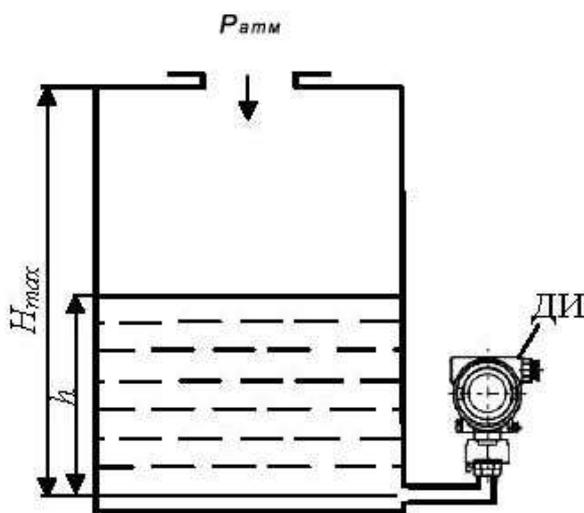


Рис. 1.5. Измерение уровня в резервуаре при помощи датчика избыточного давления

Если резервуар находится под избыточным давлением, то к гидростатическому давлению жидкости добавляется избыточное давление над ее поверхностью, которое данной измерительной схемой не учитывается. Поэтому такая схема измерения для таких случаев не подходит.

В связи с этим, более универсальными являются схемы измерения уровня с использованием дифференциальных датчиков давления (дифманометров). С помощью дифференциальных датчиков давления можно также измерять уровень жидкости в открытых резервуарах, контролировать границу раздела жидкостей.

Схема измерения уровня жидкости в открытом резервуаре, находящемся под атмосферным давлением, представлена на рис. 1.6.

Плюсовая камера дифманометра ДД через импульсную трубку соединена с резервуаром в его нижней точке, минусовая камера сообщается с атмосферой.

В такой схеме устраняется погрешность, связанная с колебаниями атмосферного давления, т.к. результирующий перепад давления на дифманометре равен:

$$\Delta P = (P_{\Gamma} + P_{\text{атм}}) - P_{\text{атм}} = P_{\Gamma}.$$

Такая измерительная схема может использоваться тогда, когда дифманометр расположен на одном уровне с нижней плоскостью резервуара. Если это условие соблюдения невозможно и дифманометр располагается ниже на высоту h_1 , то используют уравнительные сосуды (УС).

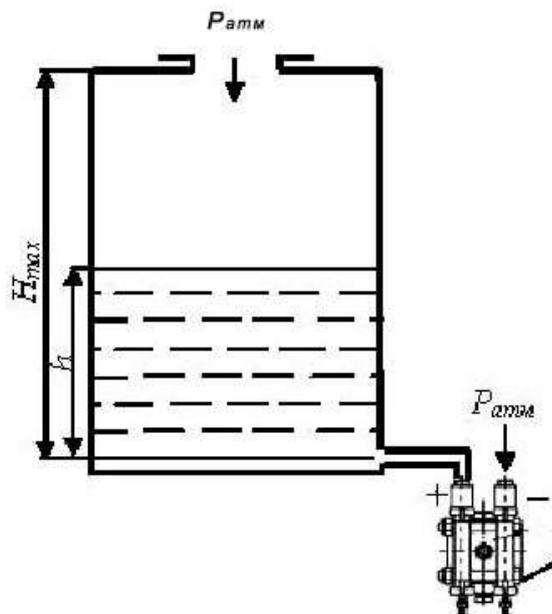


Рис. 1.6. Измерение уровня в открытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления

Схемы измерения уровня с уравнительными сосудами для резервуаров под атмосферным давлением представлены на рис. 1.7.

Уравнительный сосуд используется для компенсации статического давления, создаваемого столбом жидкости h_1 в импульсной трубке.

Для измерения уровня в резервуарах, находящихся под избыточным давлением $P_{\text{изб}}$, применяют измерительную схему, изображенную на рис. 1.8.

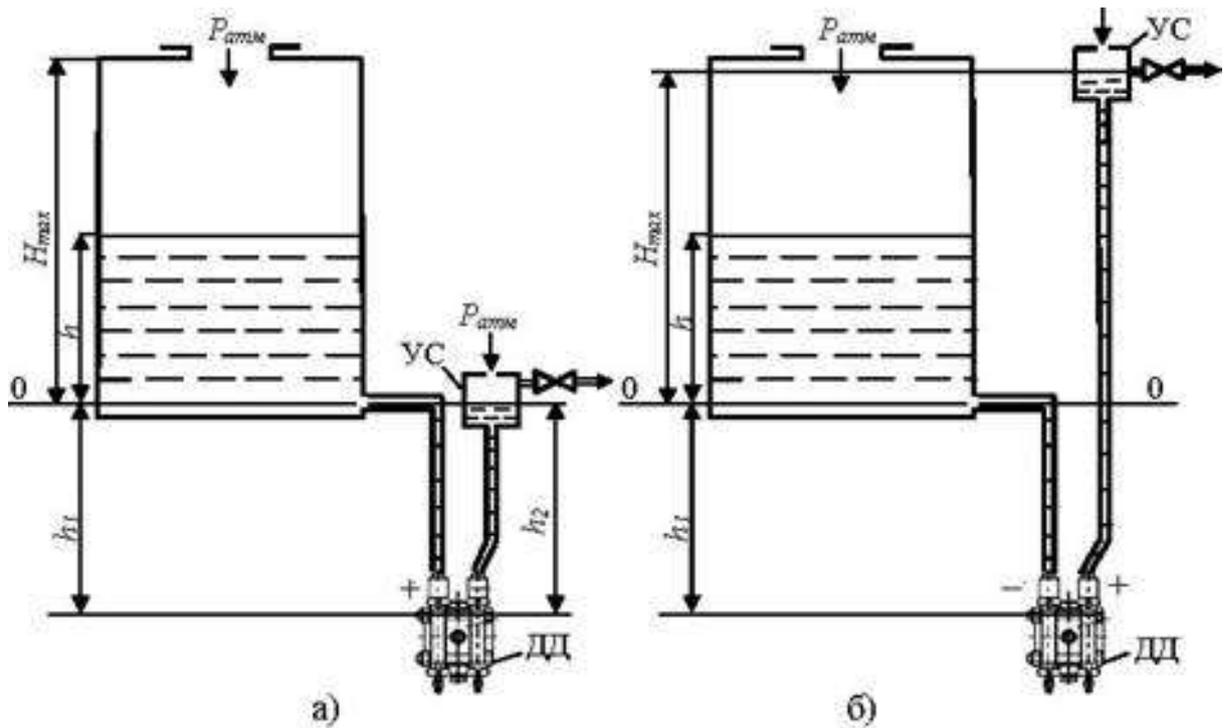


Рис. 1.7. Измерение уровня в открытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления с использованием уравнительного сосуда:
 а – с нижним расположением уравнительного сосуда;
 б – с верхним расположением уравнительного сосуда

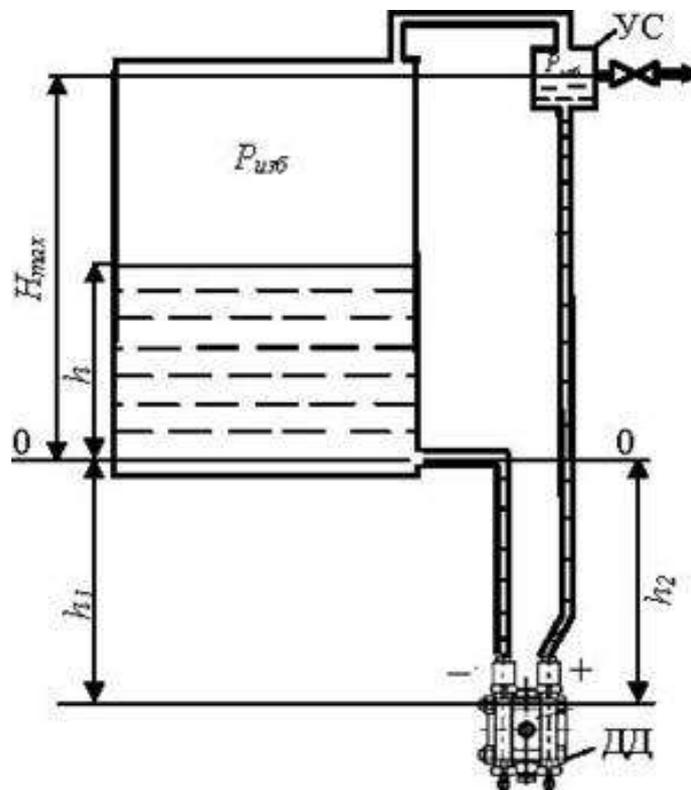


Рис. 1.8. Измерение уровня в закрытом резервуаре при помощи датчика дифференциального давления с использованием уравнительного сосуда

Избыточное давление $P_{изб}$ поступает в обе импульсные трубки дифманометра, поэтому измеряемый перепад давления ΔP можно представить в виде:

$$\Delta P = \rho g H_{max} - \rho g h,$$

где: ρ – плотность жидкости, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

При $h = 0$, $\Delta P = \Delta p_{max}$, а при $h = H_{max}$, $\Delta P = 0$.

То есть из уравнения следует, что шкала измерительного прибора уровнемера будет обращенной.

Более современным аналогом дифманометров являются датчики гидростатического давления. Как и у дифманометров, у них имеются две измерительные камеры. Одна из камер выполнена в виде открытой мембраны, а вторая – в виде штуцера. Такие датчики всегда можно установить непосредственно у дна резервуара, поэтому отсутствует необходимость в импульсных трубках, а значит, и в необходимости компенсации высоты импульсной трубки.

Наиболее распространенные измерительные схемы с использованием гидростатического датчика давления представлены на рис. 1.9.

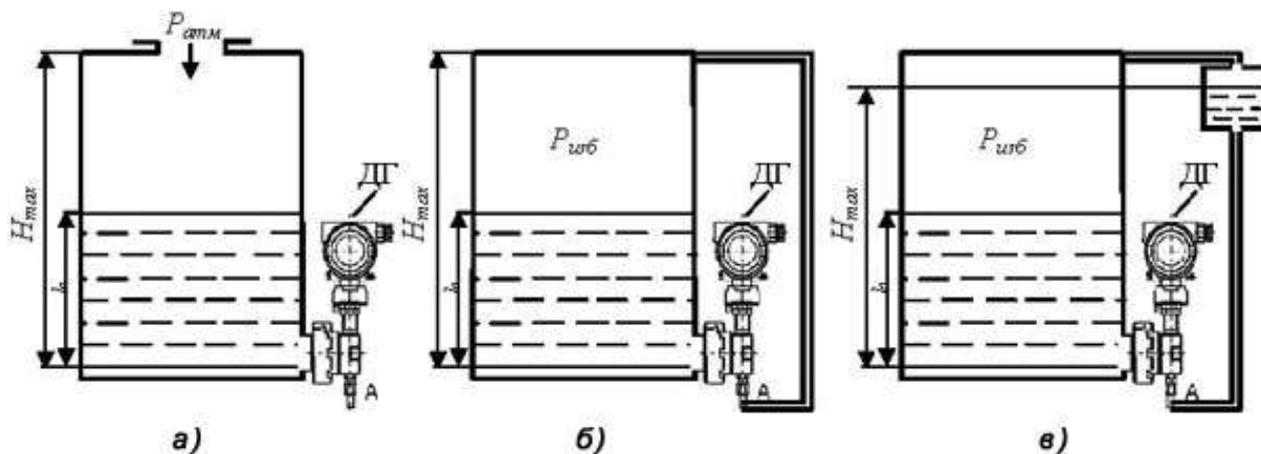


Рис. 1.9. Измерение уровня в резервуарах при помощи датчика гидростатического давления: а – для открытых резервуаров; б – для закрытых резервуаров без уравнительного сосуда; в – для закрытых резервуаров с уравнительным сосудом

Схема в) используется для процессов, в которых неизбежно образование обильного конденсата и его накопление в трубе, соединяющей датчик с объемом над жидкостью.

При измерении уровня агрессивных жидкостей дифференциальный манометр защищается разделительными сосудами или мембранными разделителями, что позволяет заполнить его камеры и трубки неагрессивной жидкостью. При измерении уровня суспензий и шламов, осадки которых могут забивать импульсные трубки дифференциальных манометров, их непрерывно продувают сжатым воздухом. Импульсные трубки все время заполнены продуваемым воздухом. При небольшом расходе воздуха его давление в минусовой камере оказывается равным давлению над жидкостью в емкости, а в плюсовой – давлению в жидкости. Поэтому перепад давлений в дифференциальном манометре будет равен гидростатическому давлению жидкости и, следовательно, пропорционален измеряемому уровню.

Гидростатические уровнемеры – ближайшие родственники датчиков давления. Они дешевы и просты по конструкции, но имеют ограниченное применение из-за относительно низкой точности, сложности применения (монтаж на днище резервуара, требуется постоянная плотность измеряемого объекта, только для спокойных объектов/процессов). Постоянный контакт с измеряемым объектом так же накладывает свои ограничения. Внешний вид различных конструкций гидростатических уровнемеров представлен на рис. 1.10.



Рис. 1.10. Различные конструкции гидростатических уровнемеров (слева – гидростатический датчик давления Сапфир-22 ДГ)

Типичное применение гидростатических уровнемеров – для однородных жидкостей в емкостях без существенного движения рабочей среды, а также для паст и вязких жидкостей.

Погрешности гидростатических уровнемеров складываются из погрешностей манометрических датчиков, а также температурных погрешностей, обусловленных изменением плотностей жидкости и

парогазовой смеси, а также изменением линейных размеров системы сосуд-датчик.

Гидростатические уровнемеры дешевы и просты по конструкции, но имеют ограниченное применение из-за относительно низкой точности, ограниченного применения (монтаж на днище резервуара, требуется постоянная плотность продукта, только для спокойных продуктов/процессов). Постоянный контакт с продуктом так же накладывает свои ограничения.

Погружные зонды – гидростатические датчики уровня для скважин. Чувствительный элемент такого датчика находится в металлическом корпусе в форме небольшого стержня; выходной сигнал снимается с помощью длинных защищенных кабелей.

Недостатки гидростатических уровнемеров:

- имеют ограниченное применение из-за относительно низкой точности;
- требуется постоянная плотность измеряемого объекта;
- применение только для спокойных объектов/процессов;
- при повышении температуры измеряемой жидкости, увеличивается её уровень, но при этом давление остается неизменным.

1.3. Электрические уровнемеры

К электрическим уровнемерам относятся те приборы измерения уровня, в которых уровень контролируемой среды непосредственно преобразуется в какой-либо электрический сигнал.

Простейшим электрическим уровнемером является измеритель уровня жидкости в скважине, имеющий следующий принцип работы: один провод опускается в скважину, второй подсоединяется к металлической обсадной трубе, индикатором контакта с водой служит лампочка или стрелочный прибор. Недостатком такого способа измерения является то, что обсадная труба должна быть проводящая (металлическая), к тому же в дождливую погоду сложно сделать замер.

Имеются уровнемеры с опускаемым в трубу датчиком касания воды с двухжильным проводом, не требующем контакта с трубой, с возможностью определения уровня жидкости и не в проводящей трубе (например – полиэтиленовой).

Большое распространение получили емкостные и кондуктометрические (омические) уровнемеры. Название определяется в зависимости от того, какой выходной параметр (сопротивление, емкость или индуктивность) первичного преобразователя «реагирует» на изменение уровня.

1.3.1. Емкостные уровнемеры

Емкостной уровнемер – один из типов электрических датчиков-измерителей уровня. Основан на принципе измерения уровня жидкости в резервуаре при помощи измерения электрической ёмкости датчика. Работа уровнемеров основана на различии диэлектрической проницаемости жидкостей и воздуха. При этом жидкости, уровень которых измеряется, могут быть как проводниками, так и диэлектриками. Основным параметром, определяющим электрические свойства проводников, является их электропроводность, а диэлектриков – относительная диэлектрическая проницаемость, показывающая, во сколько раз по сравнению с вакуумом уменьшается в данном веществе сила взаимодействия между электрическими зарядами.

Датчик емкостного уровнемера представляет собой электрический конденсатор, состоящий из двух обкладок – изолированных проводников, помещенных в резервуар с жидкостью (водные растворы солей, кислот, щелочей и т.д.), уровень которой измеряется (иногда используется одна обкладка, а в качестве второй выступает проводящая стенка резервуара). Жидкость или сыпучее вещество может свободно проникать в пространство между обкладками. При изменении их уровня в резервуаре изменяется относительная диэлектрическая проницаемость пространства между обкладками конденсатора в результате изменения уровня жидкости, поскольку диэлектрическая проницаемость жидкости и среды без неё (например, воздуха) в общем случае различна. В результате изменяется и электрическая ёмкость датчика. Это изменение емкости преобразуется электронной схемой в сигнал постоянного тока, который затем используется для местных показаний, для сигнализации достижения верхнего и нижнего уровней и для передачи информации на другие устройства.

Преобразование емкости датчика в ток возможно осуществлять резонансными и мостовыми схемами. При резонансной схеме емкостный датчик включается параллельно контуру индуктивности. При этом образуется резонансный контур. Резонансный контур настраивается на резонанс питающей частоты при определенной начальной емкости датчика, которая соответствует наличию или отсутствию контролируемого вещества на заданном уровне. Изменение емкости датчика вследствие изменения уровня жидкости приводит к изменению собственной частоты резонансного контура и срыву резонанса. Такая схема включения используется в основном в емкостных сигнализаторах уровня.

Принцип работы емкостного уровнемера иллюстрирует измерительная схема, приведенная на рис. 1.11.

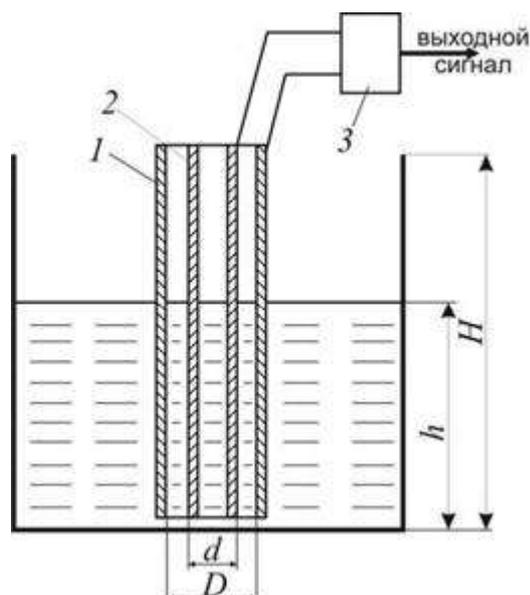


Рис. 1.11. Емкостной уровнемер:
1, 2 – электроды; 3 – электронный блок

В сосуд с контролируемой жидкостью опущен преобразователь, который представляет собой электрический конденсатор с емкостью, зависящей от уровня электропроводящей жидкости. Преобразователи могут быть пластинчатыми, цилиндрическими или в виде стержня.

Цилиндрические преобразователи выполняются из нескольких труб, расположенных концентрическим образом, пространство между которыми на высоту h заполняет контролируемая жидкость. Емкость преобразователя равна сумме емкостей двух его участков – погруженного в жидкость с одной диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_{ж}$) и находящегося в воздухе с другой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon_{ср}$, для воздуха $\epsilon_{ср} = 1$).

При измерении уровня агрессивных, но неэлектропроводных жидкостей обкладки преобразователя выполняют из химически стойких сплавов или покрывают тонкой антикоррозионной пленкой, диэлектрические свойства которой учитывают при расчете. Покрытие обкладок тонкими пленками применяют также при измерении уровня электропроводных жидкостей.

Уровень емкостной обеспечивает измерение текущего уровня и сигнализацию двух перестраиваемых предельных уровней жидких и сыпучих сред находящихся под избыточным давлением.

Достоинствами емкостных уровнемеров является отсутствие в датчике движущихся частей и надежность в работе. Кроме того, емкостные уровнемеры позволяют измерять уровень жидкости в объектах под давлением

и вакуумом. *Уровнемер емкостный* может измерять уровень как жидких, так и сыпучих продуктов. При упоре на днище резервуара и свободе перемещения в области крыши, температурное изменение геометрии не влияет на точность измерения.

Недостатком является возможность налипания и осаждения осадка на чувствительном элементе, что влияет на точность измерения.

Внешний вид емкостного уровнемера с преобразователем представлен на рис. 1.12.



Рис. 1.12. Емкостной уровнемер ФЕУ-Д5М

1.3.2. Кондуктометрические омические уровнемеры

Кондуктометрические омические уровнемеры используют для измерения уровня проводящих жидкостей (в том числе, и жидких металлов), для сигнализации и поддержания в заданных пределах уровня электропроводных жидкостей. Первичный преобразователь кондуктометрического уровнемера представляет собой два электрода, глубина погружения которых в жидкость и определяет текущее значение ее уровня. Выходным параметром преобразователя является его сопротивление или проводимость.

Схемы включения электродов измерителя уровня могут быть различны в зависимости от типа объекта и числа контролируемых уровней. На рис. 1.13 показана схема включения прибора в токопроводящий объект. В этом случае для контроля одного уровня h можно использовать один электрод (рис. 2, а), одно реле и один провод. При контроле двух уровней h_1 и h_2 (рис. 2, б) их требуется уже по два.

В качестве электродов применяют металлические стержни или трубы и угольные электроды (агрессивные жидкости).

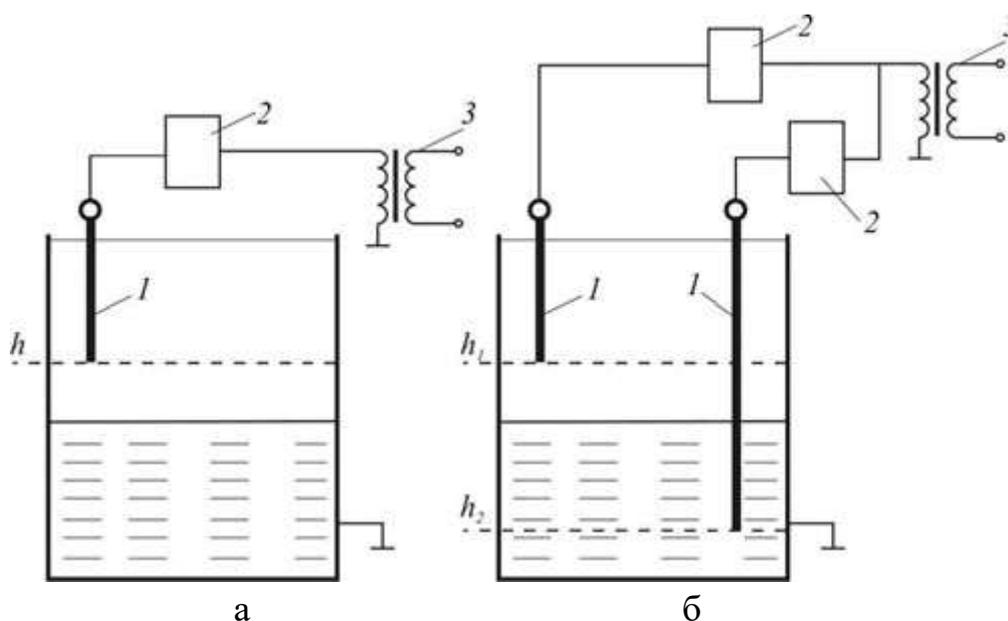


Рис. 1.13. Омические сигнализаторы уровня:

а – одного уровня; б – двух уровней;

1 – электрод; 2 – электромагнитное реле; 3 – источник питания

Основные факторы, ограничивающие точность кондуктометрических уровнемеров – непостоянство площадей поперечных сечений электродов и вследствие этого непостоянство удельных сопротивлений по длине электродов, а также образование на электродах пленки (окисла или соли) с высоким удельным сопротивлением, что приводит к резкому неконтролируемому снижению чувствительности датчика.

Кроме того, на точность кондуктометрических уровнемеров существенное влияние оказывает изменение электропроводности рабочей жидкости, поляризация среды вблизи электродов. Вследствие этого погрешности кондуктометрических методов измерения уровня (даже при использовании различных компенсационных схем) достаточно высоки (5 – 10 %), поэтому они находят преимущественное применение в качестве сигнализаторов уровня проводящих жидкостей.

Основной недостаток всех электродных приборов – невозможность их применения в средах вязких, кристаллизующихся, образующих твердые осадки и налипающих на электроды преобразователей.

1.4. Радарные уровнемеры

Микроволновые радарные уровнемеры – наиболее сложные и высокотехнологичные средства измерения уровня, наиболее используемые в современном производстве. Радарные уровнемеры используют явление отражения электромагнитных колебаний от плоскости раздела сред

жидкость-газ. Датчик уровня реализован по классическому методу радарного (радиолокационного) измерения расстояния позволяющий минимизировать влияние паразитных помех и помех, связанных с неровностями (волнениями) поверхности измеряемого объекта.

Принцип действия прибора заключается в том, что микроволновый генератор датчика уровня формирует радиосигнал, частота которого изменяется во времени по линейному закону. Этот сигнал излучается в направлении измеряемого объекта, отражается от него и часть сигнала, через определенное время, зависящее от скорости распространения электромагнитной волны, возвращается обратно в антенну. Излученный и отраженный сигнал смешиваются в датчике уровня, и в результате образуется сигнал, частота которого равна разности частот принятого и излученного сигнала, соответственно пропорциональна времени распространения, и соответственно расстоянию от антенны до измеряемого объекта. Дальнейшая обработка сигнала осуществляется микропроцессорной системой датчика уровня и заключается в точном определении частоты результирующего сигнала и пересчете ее значения в значение уровня наполнения резервуара. Обработка сигнала в датчиках уровня, как правило, построена с применением процессоров цифровой обработки сигналов и благодаря этому, она производится в реальном масштабе времени без длительного накопления информации. Отраженный, а значит и результирующий сигнал, несущий в себе информацию об уровне измеряемого объекта, содержат также и различные шумовые и паразитные составляющие, это связано с тем, что измерение производится в реальных условиях возможных волнений объекта, неполных отражений радиосигнала и его частичного поглощения поверхностью измеряемого продукта. Поэтому результирующий сигнал подвергают спектральному анализу. Для этого полученный сигнал внутри датчика уровня оцифровывается, и преобразуется в «спектр». Далее при помощи специальных алгоритмов спектрального анализа, в реальном масштабе времени фильтруются паразитные составляющие сигнала и с высокой точностью определяется частота результирующего сигнала, соответствующая уровню измеряемого объекта.

Результатом обработки является значение того или иного параметра объекта: дальность, скорость, направление движения или других.

В настоящее время широко используются два типа микроволновых уровнемеров: импульсные и с модулированным сигналом.

В уровнемерах с модулированным сигналом происходит постоянное непрерывное излучение частотно-модулированного сигнала и, одновременно, прием отраженного сигнала с помощью одной и той же антенны. В результате

на выходе получается смесь сигналов, которая анализируется с применением специального математического и программного обеспечения для выделения и максимально точного определения частоты полезного эхо-сигнала. Для каждого момента времени разность частот прямого и обратного сигналов прямо пропорциональна расстоянию до контролируемого объекта.

Импульсные микроволновые уровнемеры излучают сигнал в импульсном режиме, при этом прием отраженного сигнала происходит в промежутках между импульсами исходного излучения. Прибор вычисляет время прохождения прямого и обратного сигналов и определяет значение расстояния до контролируемой поверхности.

В радарных уровнемерах, независимо от типа, применяются СВЧ-излучения с несущей частотой, лежащей в диапазоне от 5,8 до 26 ГГц. Чем выше частота, тем более узок луч и тем выше энергия излучения, а, следовательно, сильнее отражение. Поэтому высокочастотные уровнемеры позволяют производить измерения уровня сред с низкой диэлектрической проницаемостью и, следовательно, слабой отражательной способностью. Они, также, удобны в емкостях, где присутствует различное оборудование, сокращающее свободную зону для работы радара. Вместе с тем, высокочастотные уровнемеры более чувствительны к таким явлениям как запыленность, испарения, волнение поверхности рабочей среды, налипание частиц среды на поверхность антенны вследствие более интенсивного рассеивания сигнала. В подобных условиях лучше работают уровнемеры с частотой 5,8..10 ГГц.

Другой важной характеристикой влияющей на формирование сигнала является размер и тип антенны. Различают следующие типы антенн: рупорная (коническая), стержневая, трубчатая, параболическая, планарная. Чем больше размер антенны, тем более сильный и узконаправленный сигнал она излучает и, в тоже время, тем лучше прием отраженного сигнала.

Наиболее универсальный тип антенны – рупорная. Она применяется, как правило, в больших емкостях, позволяет работать с широким спектром сред по диэлектрической проницаемости, применима в сложных условиях и обеспечивает диапазон измерения до 35..40 м (в условиях спокойной поверхности).

Стержневая антенна применяется в небольших емкостях с химически агрессивными средами или гигиеническими продуктами, а также в случае, когда доступ в емкость ограничен малыми размерами патрубка. Диапазон измерения – до 20 м. Поверхность стержневой антенны покрыта слоем защитной изоляции.

Трубчатая антенна представляет собой надстроенный удлиненный волновод. Она позволяет формировать наиболее сильный сигнал за счет снижения рассеивания и используется в особо сложных случаях при наличии сильного волнения поверхности среды или большого слоя густой пены либо для случая сред с низкой диэлектрической проницаемостью. Трубчатая антенна применима для небольшого диапазона измерения уровня.

Планарный и параболический типы антенн обеспечивают особо высокую точность (до ± 1 мм.) и применяются в системах коммерческого учета.

Радарные уровнемеры – наиболее универсальные средства измерения уровня. Не имея непосредственного контакта с контролируемой средой, они могут применяться для агрессивных, вязких, неоднородных жидких и сыпучих материалов. От ультразвуковых бесконтактных уровнемеров их выгодно отличает гораздо меньшая чувствительность к температуре и давлению в рабочей емкости, к их изменениям, а также большая устойчивость к таким явлениям как запыленность, испарения с контролируемой поверхности, пенообразование. Радарные уровнемеры обеспечивают высокую точность (до ± 1 мм.), что позволяет использовать их в системах коммерческого учета.

Вместе с тем они не свободны от недостатков:

- «загрязнение» окружающей территории СВЧ излучением;
- относительно высокая стоимость данных приборов;
- при монтаже на крыше резервуара не учитывается изменение геометрии резервуара при перепадах температуры.

Внешний вид уровнемера УЛМ-11, предназначенного для высокоточного бесконтактного измерения уровня жидких продуктов и сыпучих материалов в резервуарах показан на рис. 1.14. Уровень применяется для измерения уровня жидких продуктов таких как нефть, бензин, дизельное топливо, мазут, кислота, щелочь, битум, масло, спирт (пищевой), метанол, вода, фенол и т.д., и измерения уровня сыпучих материалов таких как угольная пыль, уголь, цемент, щебень, сажа (технический углерод) и т.д.



Рис. 1.14. Радарный уровнемер УЛМ-11

В связи с тем, что радарные датчики уровня не имеют контакта с измеряемым объектом, их можно использовать в сложных условиях, в частности, при высоком давлении, высоких температурах, при нахождении паров и газов над поверхностью. По сравнению с ультразвуковыми уровнемерами, радарные способны обеспечить большую точность измерения, обладают меньшей зоной нечувствительности, способны работать при больших давлениях в резервуаре. Современные радарные уровнемеры являются «интеллектуальными» устройствами, объединяющими в себе и измерительную часть, и обработку полученного сигнала. Часто представляют собой интерфейсные устройства.

1.5. Волноводные уровнемеры

Волноводные уровнемеры по принципу работы подобны радарным, основное отличие – использование специальных зондов – волноводов, по которым передаются радиоимпульсы, в отличие от радарных, где электромагнитные импульсы свободно распространяются в пространстве резервуара. Когда импульс достигает поверхности, обладающей более высокой диэлектрической проницаемостью, чем пар, в котором он распространяется, импульс отражается. Излучаемые импульсы имеют очень низкую мощность и сконцентрированы вдоль зонда, следовательно, излучаемая энергия почти не теряется. Это означает, что сила отраженного сигнала (амплитуда) будет почти одинаковой независимо от длины зонда. Высокоскоростная схема синхронизации точно измеряет общее время распространения импульса и обеспечивает измерение уровня жидкости.

Конструкция волноводного уровнемера представлена на рис. 1.15.

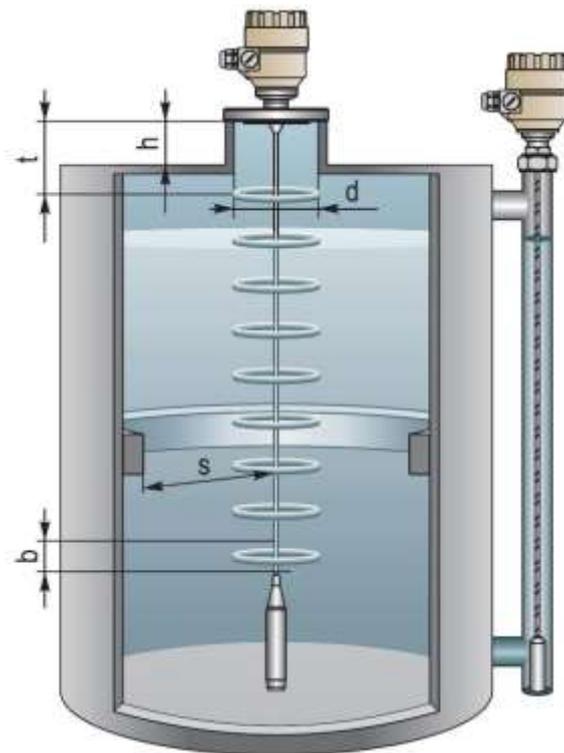


Рис. 1.15. Волноводный уровнемер

В зависимости от условий процесса производства и свойств среды, подлежащей измерению, используются различные типы зондов: коаксиальный, жесткий двухстержневой, жесткий одностержневой, гибкий двухпроводный и гибкий однопроводный.

- Коаксиальный зонд применяется, когда необходимо измерение уровня внешней поверхности и уровня раздела двух жидкостей, например, растворителей, спиртов, водных растворов, сжиженных газов и жидкого аммиака. Этот зонд обеспечивает самое высокое отношение сигнал/шум. Рекомендуется для измерения уровня жидкостей с низкой диэлектрической проницаемостью, в условиях турбулентности, в в условиях возникновения пены или потоков жидкости или пара вблизи зонда, так как оболочка коаксиального зонда работает как успокоительный колодец.

- Двухстержневой жесткий или двухпроводной гибкий зонды рекомендуются для измерении уровня жидкостей (нефтепродукты, растворители, водные растворы и т.п.). Возможно применение для измерения уровня и раздела жидких сред. Могут применяться с более вязкими жидкостями, чем рекомендовано для коаксиального зонда. Однако не стоит применять его при наличии липких сред.

- Одностержневой жесткий или однопроводной гибкий зонды менее восприимчивы к налипанию среды и образованию наростов. Они могут применяться для вязких жидкостей, взвесей, водных растворов и алкогольных напитков, а также использоваться в фармацевтической промышленности. Применяются для измерения уровня вязких жидкостей, например, сиропа, меда и т.п., а также водных растворов.

Направленное микроволновое измерение уровня применяется в тех случаях, когда применение других приборов затруднительно, например ультразвуковые приборы могут отказывать из-за высокого содержания пыли или при недостаточной энергии, отраженной сухими сыпучими продуктами или густой пеной. Часто применяются в малых и узких резервуарах.

Волноводные уровнемеры способны работать в жестких условиях: высокие температуры (до 600 °С), высокое давление (до 100 бар), сильное бурление жидкости, резервуары с работающей мешалкой, пары и газы над поверхностью жидкости, сильное запыление (например, угольная пыль, цемент). Они не боятся налипаний продукта, не «фонят» по СВЧ, меряют уровень от дна. При упоре излучателя на днище резервуара и свободе перемещения в области крыши, температурное изменение геометрии не влияет на точность измерения.

Внешний вид волноводных уровнемеров представлен на рис. 1.16.



Рис. 1.16. Волноводные уровнемеры:
а – Horizon 704; б – Rosemount серии 3300

1.6. Вибрационные уровнемеры

Вибрационные сигнализаторы уровня применяются для измерения граничных значений жидкостей. Модульная конструкция приборов позволяет использовать их в емкостях, резервуарах и трубопроводах. Благодаря универсальной и простой измерительной системе, сигнализатор уровня практически не критичен к химическим и физическим свойствам жидкости. Он работает даже при неблагоприятных условиях, таких как турбулентность, пузырьки воздуха. Вибрационные сигнализаторы уровня способны измерять уровень почти всех жидкостей. Вибрирующий элемент приводится в действие пьезоэлектрическим методом и вибрирует с механической резонансной частотой приблизительно 1200 Гц. Пьезоэлементы закреплены механически и не подвергаются воздействию теплового удара. При погружении вибрирующего элемента в измеряемую среду частота изменяется. Это изменение частоты улавливается встроенным генератором и преобразуется в команду на переключение. Вибрационные уровнемеры, как правило, компактны и могут работать без внешней обработки сигнала, имеют встроенный блок электроники, который обрабатывает сигнал уровня и преобразует его (в зависимости от типа встроенного генератора) в соответствующий выходной сигнал. При помощи этого выходного сигнала можно работать с подключенными дополнительными устройствами напрямую (например, системой предупреждающей сигнализации, ПЛК, насосами и т.д.). Вибрационные уровнемеры – это лучшее решение для липких сред.

Конструкции ряда вибрационных уровнемеров представлены на рис. 1.17.

1.7. Акустические (ультразвуковые) уровнемеры

В акустических, или ультразвуковых, уровнемерах используется явление отражения ультразвуковых колебаний от плоскости раздела сред жидкость-газ. Действие уровнемеров этого типа основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от излучателя до поверхности сыпучего материала или жидкости и обратно (рис. 1.18). При приеме отраженного импульса излучатель становится датчиком.

Если излучатель расположен над измеряемой поверхностью, уровнемер называется акустическим; если внутри – ультразвуковым уровнемером. В первом случае измеряемое время будет тем больше, чем ниже уровень, во втором – наоборот. Электронный блок служит для формирования излучаемых ультразвуковых импульсов, усиления отраженных импульсов, измерения

времени прохождения импульсом двойного пути (в воздухе или жидкости) и преобразования этого времени в унифицированный электрический сигнал.



а



б

Рис. 1.17. Вибрационные уровнемеры:
 а – Liquiphant M FTL 50, FTL 51, FTL 50 Н, FTL 51 Н;
 б – вибрационный датчик уровня VibraSwitch VSS

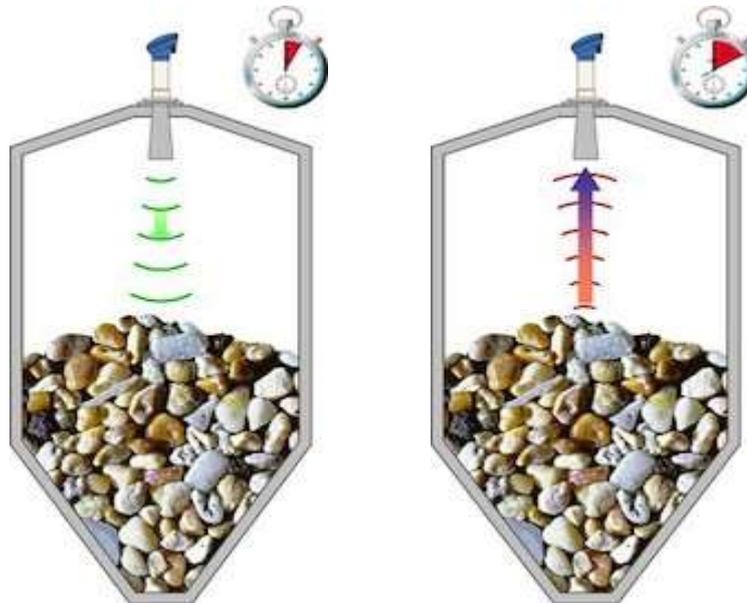


Рис. 1.18. Схема работы акустического измерителя уровня

Промышленностью выпускаются ультразвуковые уровнемеры предназначенные для контроля одного уровня, двух уровней, или для контроля двух уровней в одном технологическом проеме.

Основное назначение акустических уровнемеров – для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред, в том числе взрывоопасных, агрессивных, вязких, неоднородных, выпадающих в осадок, а также сыпучих материалов с диаметром гранул и кусков от 5 до 300 мм, при температуре контролируемой среды от минус 30 °С до плюс 120 °С.

На рис. 1.19 представлен внешний вид акустического бесконтактного датчика уровня ЭХО-АС-01, предназначенного для автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред, в том числе агрессивных, взрывоопасных, вязких, неоднородных, выпадающих в осадок, а также сыпучих материалов.

Среди акустических уровнемеров есть класс накладных сигнализаторов уровня. Такие датчики устанавливаются на наружные поверхности резервуара и определяют «заполнен ли до данного уровня».



Рис. 1.19. Акустический бесконтактный датчик уровня ЭХО-АС-01

Достоинства ультразвуковых уровнемеров:

- отсутствие контакта с продуктом;
- акустические уровнемеры самые дешевые из всех бесконтактных датчиков уровня.

- возможно применение для различного вида жидкостей и сыпучих продуктов.

Недостатки:

- акустический сигнал плохо реагирует на наличие пены на поверхности продукта;
- влияние на результат избыточного давления в емкости;
- ограничение на температуру продукта измерения;
- невозможность применения данного метода измерения в вакууме;
- при монтаже на крыше резервуара при изменениях температуры не учитывается изменение геометрии резервуара.

1.8. Радиационный уровнемер

Определенные типы радиационного излучения легко могут проникать через стенки промышленной емкости, но степень поглощения излучения продуктом, находящимся в данной емкости, может существенно различаться. Следовательно размещая радиоактивный источник с одной стороны емкости и измеряя радиацию с другой стороны емкости детектором, можно определить уровень продукта. Определенные типы излучений рассеиваются технологическим продуктом. Соответственно уровень такого продукта может быть измерен с помощью измерений отраженного уровня радиации.

Существуют четыре основных типа излучения – альфа-частицы (α), бета частицы (β), гамма – лучи (γ) и нейтроны (n). Альфа-частицы – ядра гелия и Бета частицы легко обнаруживаются, но имеют очень небольшую мощность излучения и практически не используются для измерения уровня. Гамма – лучи являются электромагнитными по своей природе и имеют большую проникающую способность. Нейтронное излучение также проникает через металл очень эффективно, но может быть рассеяно любым веществом, содержащим водород (например, вода, углеводороды и много других жидкостей). Данное свойство делает нейтронное излучение практически идеальным для измерения уровня большого количества технологических жидкостей. Эти последние две формы радиации (гамма – лучи и нейтронное излучение) больше всего распространены в промышленных измерениях уровня. Гамма – лучи используются в измерениях уровня через две стенки емкости, нейтронное излучение используется при применении эффекта рассеивания.

Радиационные уровнемеры используются для сложных условий эксплуатации: ядовитые, токсичные, радиоактивные, сильно коррозирующие жидкости, при высокой температуре и давлениях. Для использования подобных уровнемеров требуются специальные разрешения.

1.9. Метрологические характеристики уровнемеров

Основные метрологические характеристики уровнемеров любых типов следующие:

статическая функция преобразования (градуировочная характеристика), описывающая связь выходных сигналов первичного преобразователя с текущими значениями измеряемой величины – уровня,

основная погрешность;

вариация показаний;

дополнительные погрешности, обусловленные конструктивными особенностями уровнемеров, взаимодействием чувствительного элемента датчика со средами, образующими поверхность раздела.

Указанный комплекс характеристик определяется при градуировке, поверке, аттестации и испытаниях уровнемеров.

Кроме того, для уровнемеров, работающих в системах автоматического управления технологическими процессами, измеряющих быстропеременные значения уровня, необходимо нормировать и оценивать динамические характеристики (постоянную времени, переходную характеристику и т.д.).

К числу методических погрешностей, присущих любым процессам измерения уровня жидкостей, относятся: погрешность ориентации датчика в сосуде и температурная.

Погрешность (Δ_{Π}) из-за неправильной пространственной ориентации датчика возникает вследствие неточностей установки сосуда, монтажа датчика уровнемера на нем, деформации несущих элементов транспортируемых сосудов при их заполнении и опорожнении, неравномерной осадки фундаментов стационарных емкостей – хранилищ и т. д. Все это, в конечном счете, приводит к несовпадению трассы измерения уровня с перпендикуляром к поверхности раздела сред.

На рис. 1.20 изображен случай, когда сосуд, в котором измеряется уровень жидкости, наклонен относительно горизонтали на угол φ_1 .

Погрешность Δ_{Π} в этом случае

$$\Delta_{\Pi} = l \sin \varphi_1, \quad (1.1)$$

где l – смещение точки установки датчика на базовой поверхности от оси симметрии сосуда.

На рис. 1.20 показан также случай, когда датчик уровнемера смонтирован под углом φ_2 к вертикальной оси сосуда. В этом случае погрешность Δ_n

$$\Delta_n = (H - h)(\cos \varphi_2 - 1), \quad (1.2)$$

где H – верхний предел измерений уровнемера, h – текущее значение уровня.

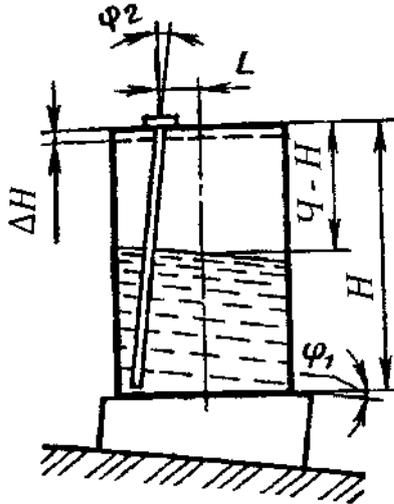


Рис. 1.20. Иллюстрация случая, когда сосуд, в котором измеряется жидкость, находится в наклонном состоянии

В наихудшем случае (при «наихудшем» расположении системы датчик–сосуд) обе указанных погрешности погрешности (Δ_n и Δ_p) будут суммироваться.

Методическая температурная погрешность (Δ_t) обуславливается температурными изменениями размеров системы датчик – сосуд. Значение этой погрешности зависит от расположения точки крепления датчика относительно базовой плоскости (от которой ведется отсчет уровня) и построения чувствительного элемента датчика. В зависимости от построения чувствительного элемента датчики уровнемеров подразделяют на зондовые и базовые. Для зондовых датчиков (рис. 1.21) характерно наличие вытянутого чувствительного элемента («зонда»), глубина погружения которого в жидкость и является мерой ее уровня.

При базовых датчиках (рис. 1.22), например, – акустических, уровень измеряется путем фиксации расстояния между поверхностью раздела и излучающей поверхностью датчика.

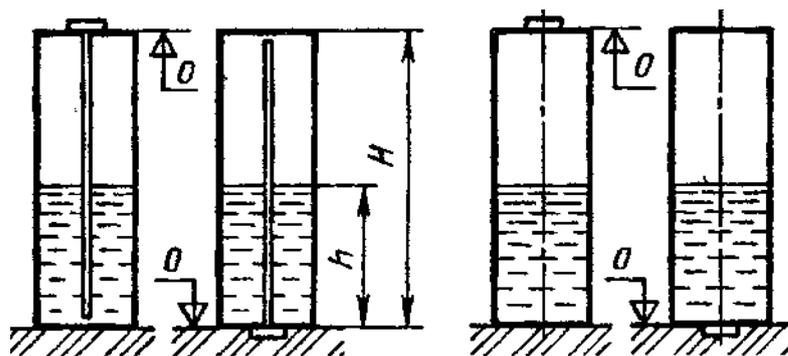


Рис. 1.21. Зондовый датчик Рис. 1.22. Базовый датчик

Температурная погрешность при использовании зондовых датчиков и креплении их на верхней крышке сосуда

$$\Delta_t = ((H_d - h)a_d - H_c a_c) \Delta t \quad (1.3)$$

где H_d, H_c – линейные размеры (высота) зонда и сосуда, a_d, a_c – коэффициенты линейного расширения материалов датчика (зонда) и сосуда, Δt – изменение температуры от характерной для нормальных условий. При нижнем креплении зондовых датчиков

$$\Delta_t = -h \cdot a_d \Delta t. \quad (1.4)$$

Методическая температурная погрешность при использовании базовых датчиков определяется теми же формулами (1.3) и (1.4) при условии $a_d = 0$. При нижнем креплении базовых датчиков методическая температурная погрешность, как следует из формулы (1.4), отсутствует.

В ряде случаев для того, чтобы создать более благоприятные условия измерений, устранить волнения поверхности жидкости, обеспечить возможность визуального отсчета и т. д., датчики уровнемеров помещают в специальные камеры, сообщающиеся с полостью сосуда, в котором измеряется уровень. В этом случае вследствие гидравлического сопротивления каналов, связывающих камеры с основным сосудом, возникает дополнительная методическая погрешность Δ_d , обусловленная «отставанием» уровня жидкости в полости камеры. Значение «отставания», а следовательно, и погрешности Δ_d тем больше, чем больше скорость изменения уровня и вязкость контролируемой жидкости.

Значение погрешности Δ_d может быть оценено по приближенной формуле

$$\Delta_d \approx \xi \frac{v^2 d_c^2}{2g d_k^2}, \quad (1.5)$$

где ξ — суммарный коэффициент сопротивления соединительного канала (сумма коэффициентов местных сопротивлений и коэффициента гидравлического сопротивления канала), v — скорость изменения уровня в сосуде, d_c , d_k — диаметры сосуда и соединительного канала.

Используемые в промышленном производстве, научных исследованиях типы измерений, с указанием особенностей и характерных погрешностей сведены в таблицу приложения 1.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные элементы визуального уровнемера?
2. Какие проблемы возникают при работе с уровнемерами жидкости?
3. Каковы особенности измерения уровня сыпучих веществ?
4. Перечислите типы механических уровнемеров.
5. Как измерить раганицу раздела двух несмешивающихся жидкостей?
6. Каков принцип действия поплавкового уровнемера?
7. Каков принцип действия буйкового уровнемера?
8. На каком физическом принципе действия основан гидростатический уровнемер?
9. Как работает кондуктометрический уровнемер?
10. Какой уровнемер называется емкостным?
11. Какие факторы ограничивают точность кондуктометрического метода измерения?
12. Каков принцип работы радарного уровнемера?
13. Какие факторы сдерживают повсеместное использование радарных уровнемеров?
14. Чем отличается волноводный уровнемер от радарного ?
15. какие типы сигналов используются в микроволновых уровнемерах?
16. Как работает вибрационный уровнемер?
17. Как работает акустический уровнемер?
- Каковы достоинства и недостатки акустического уровнемера?
18. Каковы основные источники ошибок при измерении уровня жидкости и сыпучих материалов?
19. Какие типы зондов используются в волноводных уровнемерах?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П1.

Типы измерения уровня жидкости и сыпучих сред

Тип измерения	Физический принцип измерения	Возможность бесконтактного измерения	Погрешность	Ограничения при применении
Барботерный	Через барботерную трубку в резервуар подается воздух или инертный газ. Сила давления подачи газа преобразуется в уровень.	нет	1-2 %	Вводит в измеряемую жидкость инородное вещество. Трудоемко в обслуживании.
Емкостной	Изменение диэлектрической проницаемости между электродами.	нет	1-2 %	Невозможно обнаружение пены.
Кондуктометрический	Преобразование изменения электрического сопротивления между электродом датчика и стенкой резервуара или электродами датчика.	нет	2-3 мм	Может использоваться только на электропроводных материалах.
Мембранный	Измерение гидростатического давления на дне резервуара.	нет	0,5 %	Применение только при неизменном давлении внутри резервуара.
Дифференциального давления	Измерение разницы давления в нижней и верхней части резервуара выше уровня жидкости.	нет	0,1 %	Ограничения при измерении уровня суспензий и шламов,.
Дисплейсерный	Используется выталкивающая сила,	нет	0,5 %	Не рекомендуется для измерения уровня

	действующая на поплавков или буюек. С поплавком или буйком жестко связан магнит.			отстоя, жидкостей содержащих шлам и твердые взвеси.
Поплавковый	Поплавок с постоянным магнитом перемещается вместе с уровнем жидкости по трубе скольжения, в которой находятся герметизированные магнитоуправляемые контакты.	нет	1 %	Фактическое положение уровня, различное для веществ с различной плотностью. Можно использовать только в очищенных жидкостях.
Лазерный	Измерение временного интервала между излученным и отраженным световым импульсом.	да	0,05 %	Ограниченно для мутных жидкостей, сыпучих материалов с различием отражающих свойств частиц. Неприемлемо при наличии пара и в прозрачных резервуарах.
Магнитный уровнемер	Поплавок с магнитом двигается вверх и вниз по внутренней части немагнитной трубки, магнитные элементы прикрепленные снаружи, в стеклянной трубке переворачиваются цветной гранью когда магнит достигает их уровня.	нет	5 мм	Не рекомендуется для измерения уровня отстоя, жидкостей содержащих шлам и твердые взвеси.
Микроволновый	Высокочастотные микроволновые импульсы направляются вдоль по стальному тросу или стержню. Достигнув поверхности продукта,	да	10 мм	Ограничено применение при толстом слое пены

	микроволновые импульсы отражаются от нее. Исходя из времени прохождения импульса, рассчитывается значение расстояния.			
Оптический	Изменение коэффициента преломления ИК-излучения на границе перехода двух сред. Одна из сред - линза самого датчика, а вторая - непосредственно окружающая среда.	да	5 мм	Ограничено применением в чистых жидкостях, при этом требуется достаточное свободное пространство в месте установки датчика
Радарный	В результате взаимодействия излученного и отраженного сигналов возникает сигнал разностной частоты, пропорциональной расстоянию от антенны излучателя до поверхности продукта.	да	2-3 мм	Брызги, кипение, волнение, пенообразование и т.п.
Радиоизотопный	Действие основано на поглощении γ -лучей при прохождении через слой вещества.	да	5 мм	Требуется разрешение на применение
Байпасный	Уровень в трубе установленной сбоку резервуара в виде сообщающегося сосуда соответствует уровню в резервуаре.	нет	10 мм	Опасно при применении на резервуарах работающих под давлением.
Ротационный	При контакте лопасти с материалом, происходит останов двигателя.	нет	20-30 мм	Неприменим для жидкостей, вязких и налипающих материалов, крупных фракций, пылевидных веществ.

Лотовый	Лот, закрепленный на конце измерительного троса/ленты опускается при помощи электромотора в емкость. Как только груз соприкасается с материалом, формируется сигнал.	нет	1-100 мм	Низкая надежность работы в условиях высокой запыленности, а также при работе с мелкодисперсными материалами.
Вибрационный	Лопастей сигнализатора уровня, испытывая пьезоэлектрическое воздействие, вибрируют на механической резонансной частоте. Затухание колебаний (изменение амплитуды), возникающее вследствие покрытия лопастей датчика материалом, формирует сигнал.	нет	10-15 мм	Налипание материала на лопасти может привести к остановке процесса измерения.
Тепловой	Сигнализатора состоит из двух температурных датчиков. Один из датчиков измеряет температуру среды. Второй имеет более высокую температуру за счет принудительного нагревания. При появлении протока или увеличении уровня продукта температура нагретого датчика уменьшается. При достижении разности температур заданного порога срабатывает реле.	нет	10-15 мм	Наличие пены и других образований с теплопередачей отличной от среды измерения приводят к погрешностям.
Ультразвуковой	Основано на измерении времени прохождения импульса ультразвука от	да	1 %	Не допускается пыль, пена, роса, пар, неравномерная

	излучателя до поверхности жидкости и обратно.			поверхность, «пушистые» материалы.
Магнитострикционный	Поплавок с постоянным магнитом перемещается вместе с уровнем жидкости по трубе скольжения, в которой находится волновод - натянутая проволока из магнитострикционного материала.	нет	≤ 1 мм	Фактическое положение уровня, различное для веществ с различной плотностью. Можно использовать только в очищенных жидкостях.

